

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Patentschrift
11 DE 3433698 C2

51 Int. Cl. 4:
C23 C 24/10
F 01 L 1/16

21 Aktenzeichen: P 34 33 698.2-45
22 Anmeldetag: 13. 9. 84
43 Offenlegungstag: 4. 4. 85
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 11. 6. 87

DE 3433698 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität: 32 33 31
14.09.83 JP P168405/83

73 Patentinhaber:
Honda Giken Kogyo K.K., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:
Mitscherlich, H., Dipl.-Ing.; Gunschmann, K.,
Dipl.-Ing.; Körber, W., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat.;
Schmidt-Evers, J., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8000
München

72 Erfinder:

Sege, Toshihiko, Sayama, Saitama, JP; Makita,
Tsuyoshi, Kawagoe, Saitama, JP; Hirono, Hisao,
Saitama, JP

56 Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:

DE-OS 33 41 034
DD 1 11 589
FR 14 81 510
Patent Abstr. of Japan, Vol. 6, 1982, Nr. 102,
JP 32 373-82;

54 Verfahren zur Oberflächenbehandlung eines Werkstücks

DE 3433698 C2

FIG. 1

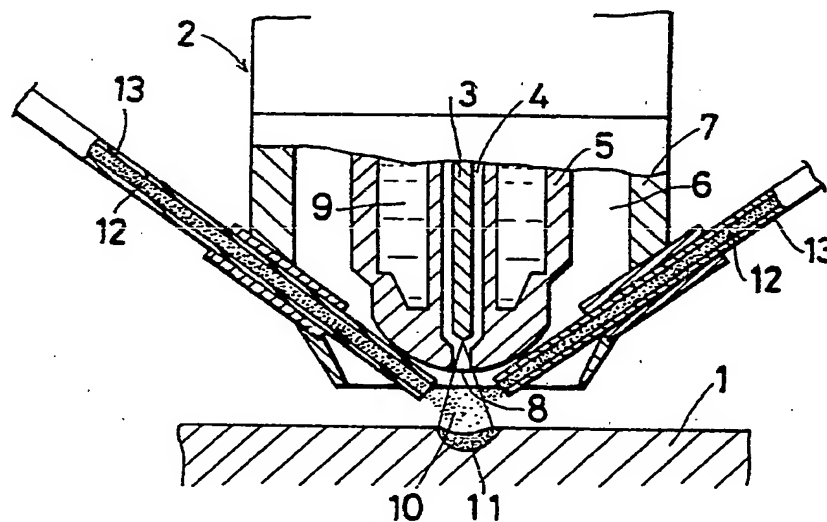
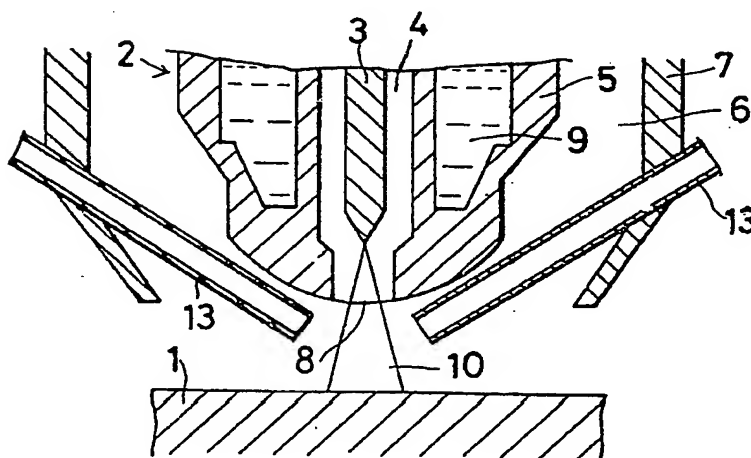


FIG. 2



Patentansprüche

1. Verfahren zur Oberflächenbehandlung eines Werkstücks, bei dem ein Teil der Oberfläche durch einen Plasmalichtbogen eines Plasmabrenners zur Bildung eines geschmolzenen Abschnitts geschmolzen wird und gleichzeitig eine vorgegebene geringe Menge eines Zusatzmittels aus einem sich vom Metallwerkstoff des Werkstücks unterscheidenden Pulverwerkstoff in einen geschmolzenen Abschnitt eingeführt wird, um die Oberfläche des Werkstücks hinsichtlich mechanischer Eigenschaften zu verbessern, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mischrohr (13) so angeordnet wird, daß es auf den Plasmalichtbogen (10) gerichtet ist, der von einer Düse (5) des Plasmabrenners (2) ausgestoßen wird und der von einem Schutzgas von einem Schutzgas-Durchlaß (6) umgeben ist, wobei die Fördergeschwindigkeit des Pulverwerkstoffs von dem Mischrohr (13) auf mehr als das 1,5fache der Strömungsgeschwindigkeit des Schutzgases vom Durchlaß (6) eingestellt ist, derart, daß das Pulver-Zusatzmittel (12) von dem Mischrohr (13) in den Plasmalichtbogen (10) von der Düse (5) eingeführt und durch diesen erwärmt wird und danach in den geschmolzenen Abschnitt (11) durch einen Plasmagasstrahl eingeführt wird, der auf den Abschnitt des Werkstücks (1) geblasen wird, daß der geschmolzene Abschnitt (11) durch Blasen des Plasmastrahls auf ihn heftig und turbulent bewegt wird, derart, daß das erwärmte Zusatzmittel (12) gleichförmig in die geschmolzene Schicht verteilt bzw. eingemischt wird, daß der Plasmabrenner (2) bewegt wird, bevor Pulver-Zusatzmittel auf dem sich ergebenden gleichförmigen geschmolzenen Mischabschnitt (11a) niedergeschlagen werden, und daß der sich ergebende, eine vorgegebene Menge des Pulver-Zusatzmittels enthaltende geschmolzene Mischabschnitt (11a) durch das übrige Werkstück (1) zwecks Verfestigung gekühlt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Zusatzmittel Pulver aus wenigstens einer Substanz ausgewählt aus Metallen wie Ni, Cr oder Mo, Legierungen davon, Karbiden wie W, C, SiC, Mo_2C , Cr_3C_2 oder B_4C , Boriden wie BN oder TiB, Sulfiden wie MoS_2 , WS_2 oder FeS und Oxiden wie Al_2O_3 oder SiO_2 verwendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung einer 0,2 bis 12 Vol.-% Chromsulfide enthaltenden Aufschmelzschicht dem Plasmalichtbogen Cr_2S_3 -Pulver zugeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung einer 0,5 bis 20 Vol.-% Eisensulfide enthaltenden Aufschmelzschicht dem Plasmalichtbogen FeS-, MoS- oder WS_2 -Pulver zugeführt wird.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Oberflächenbehandlung eines Werkstücks gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein Verfahren dieser Art ist aus der japanischen veröffentlichten Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnummer 57-32 373 bekannt (vgl. Patent abstracts of Japan C-107, 11. Juni 1982, Bd. 6, Nr. 102). Bei dem

bekannten Verfahren werden ein Plasmalichtbogen und ein Zusatzmittel zur Verbesserung der Oberfläche des zu behandelnden Werkstücks parallel zueinander zugeführt, weshalb das Zusatzmittel zwar direkt in den geschmolzenen Abschnitt der Oberfläche des Werkstücks eingeführt werden kann, jedoch außerhalb des Bereichs des Plasmalichtbogens, wodurch sich wesentlich unterschiedliche Temperaturen ergeben, die eine vorzeitige Abkühlung am Einführungsört erreichen, was nachteilig ungünstige Mischverhältnisse und ungleichförmige Einführung des Zusatzmittels zur Folge hat.

Eine ähnliche Vorgehensweise ist aus der FR-PS 14 81 510 bekannt, bei der als Zusatzmittel eine sich verbrauchende Elektrode verwendet wird.

Ferner ist es bekannt, auf der Oberfläche eines Werkstücks zusätzliches Material aufzubringen, etwa durch Flammgespritzten, wobei ein Lichtbogen verwendet wird (DD-PS 1 11 589). Eine ähnliche Vorgehensweise ist aus der älteren nicht vorveröffentlichten Anmeldung gemäß der DE-OS 33 41 034 entnehmbar, wobei zur Verbesserung der Haftung die Oberfläche des Gußeisenteils selbst gleichzeitig geringfügig aufgeschmolzen wird; derart, daß der Kohlenstoff des Gußeisenteils mit dem Titan der geschmolzenen und auf die Oberfläche durch den Plasmalichtstrahl aufgespritzten Legierungsteile kombiniert wird.

Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, eine bessere Mischung des Zusatzmittels und des geschmolzenen Metalls zu erreichen und damit auch eine Verbesserung der Oberfläche des Werkstücks hinsichtlich mechanischer Eigenschaften.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Die Erfindung wird durch die Merkmale der Unteransprüche weitergebildet.

Bei der Erfindung ist wesentlich, daß ein Mischrohr so vorgesehen ist, daß es zum Plasmalichtbogen gerichtet ist, damit das Pulver-Zusatzmittel erwärmt werden kann, derart, daß es in der Temperatur angehoben wird, bevor es in den geschmolzenen Abschnitt eingeführt wird. Dadurch erfolgt eine Verbesserung dessen Reaktion mit dem geschmolzenen Abschnitt des Metalls, wobei gleichzeitig die Einführung des Pulver-Zusatzmittels und das Schmelzen des Metalls des Werkstücks an der gleichen Stelle der Oberfläche des Werkstücks stattfinden, wodurch ein gleichförmiges Mischen der beiden sichergestellt wird. Unter günstigen Umständen kann das Zusatzmittel nicht nur lediglich erwärmt, sondern vollständig geschmolzen werden und/oder in noch kleinere Teilchen aufgeteilt werden, so daß eine noch bessere gleichförmige Mischung mit dem geschmolzenen Metall erreicht werden kann. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens bearbeitete Werkstücke haben hohe Oberflächen-Abriebfestigkeit und hohe Beständigkeit gegen raue Behandlung bzw. Trennfestigkeit, was bisher mit gattungsgemäßen Verfahren nicht erreichbar war.

Durch den Zusatz der Pulverwerkstoffe, die in ihrer Zusammensetzung vom Werkstoff des Werkstücks abweichen in den durch den Lichtbogen geschmolzenen Abschnitt der Oberfläche und durch das innige Vermischen in der Schmelze mit nachfolgender Abkühlung wird eine Schmelzbehandlungsschicht erreicht, die in ihren Abriebeigenschaften wesentlich verbessert ist.

Bei Anwendung bei beispielsweise der Gleitfläche der Nocke der Nockenwelle eines Motors, wird gute Abriebfestigkeit erhalten, wobei die Durchführung des Verfahrens relativ einfach ist und ferner vorteilhaft das

Pulver-Zusatzmittel keiner langen Hitzeeinwirkung ausgesetzt ist, wodurch Verluste aufgrund thermischer Zersetzung vernachlässigbar klein sind und daher keine Wirkung entfalten können.

Die Erfindung wird anhand einer in der Zeichnung dargestellten Ausführungsform einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens sowie anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 schematisch im Schnitt eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 2 bis 6 Darstellungen zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Vorgehensweise,

Fig. 7 die Abhängigkeit des Abriebs vom Gehalt an Cr-Sulfid in Volumen-%,

Fig. 8 die Abhängigkeit des Abriebs vom Gehalt an Eisensulfid in Volumen-%.

Fig. 1 zeigt ein zu bearbeitendes Werkstück 1, wie eine Nockenwelle oder dergleichen aus einem Metall wie Gußeisen, einer Aluminiumlegierung oder dergleichen sowie einen gegenüberliegend angeordneten Plasmabrenner 2. Der Plasmabrenner 2 weist mittig eine Elektrode 3 auf, die von einer Düse 5 mit einem Arbeitsgas-Durchlaß 4 umgeben ist. Die Düse 5 ist von einer Schutzkappe 7 mit einem Schutzgas-Durchlaß 6 umgeben. Die Düse 5 weist am dem Werkstück 1 zugewandten vorderen Ende einen Plasmagas-Durchlaß 8 auf, der mit dem Arbeitsgas-Durchtritt 4 in Verbindung steht. Im Inneren der Düse 5 sind noch Kühlwasserkanäle 9 vorgesehen. Der Plasmagasstrahl wird über den Durchlaß 8 auf das Werkstück 1 gerichtet, während gleichzeitig ein Plasmalichtbogen 10 zwischen dem Werkstück 1 und der Elektrode 3 erzeugt wird. Auf diese Weise wird auf der Oberfläche des Werkstücks 1 ein geschmolzener Abschnitt 11 gebildet. Durch Bewegen des Plasmabrenners 2 längs eines vorgegebenen Kurvenverlaufes entsteht eine kontinuierliche Schmelzzone längs dieses Kurvenverlaufes. Der geschmolzene Abschnitt 11 der Schmelzzone wird graduell durch Abkühlung von Anfang an verfestigt, so daß eine aufgeschmolzene Behandlungsschicht gebildet wird.

Ein von dem Metallwerkstoff des Werkstücks 1 sich hinsichtlich des Materials unterscheidendes pulverförmiges Zusatzmittel 12 wird über den Plasmalichtbogen 10 in den geschmolzenen Abschnitt 11 der Schmelzzone gebracht und dort kräftig mit der geschmolzenen Schicht vermischt. Hierzu wird ein Mischrohr 13 aus z. B. Keramik verwendet, das so am Plasmabrenner 2 angeordnet ist, daß dessen vorderes Ende auf den Plasmalichtbogen 10 gerichtet ist. Das Zusatzmittel 12 wird dann mittels beispielsweise Argongas durch das Mischrohr 13 zum Lichtbogen 10 gefördert und über diesen in den geschmolzenen Abschnitt 11 der Schmelzzone zwecks Vermischung mit diesem eingeführt.

Insbesondere betragen die Geschwindigkeit des Plasmastrahls vom Plasmabrenner 2 20 m/s, die Strömungsgeschwindigkeit des Schutzgases am Außenumfang 0,33 m/s und die Fördergeschwindigkeit des Pulverwerkstoffes 7 m/s, jedoch stets mehr als das 1,5fache der Strömungsgeschwindigkeit des Schutzgases. Auf diese Weise kann der Pulverwerkstoff den Schutzgasstrom durchdringen und in den Plasmastrahl eindringen.

Einzelne Arbeitsschritte werden anhand der Fig. 2 bis 6 erläutert. Zunächst wird gemäß den Fig. 2 und 3 ein Plasmalichtbogen 10 zwischen dem Plasmabrenner 2 und dem Werkstück 1 erzeugt, wodurch an der Oberfläche des Werkstücks 1 ein geschmolzener Abschnitt 11 erreicht wird (Fig. 3). Dann wird das Pulver-Zusatzmittel 12 mittels beispielsweise Argongas durch das Misch-

rohr 13 gefördert. Anschließend wird, wie in Fig. 4 gezeigt, das Zusatzmittel 12 in den Plasmalichtbogen 10 eingebracht und durch diesen in seiner Fördergeschwindigkeit erhöht und mit diesem in den aufgeschmolzenen Abschnitt 11 an der Oberfläche des Werkstücks 1 eingeführt und dort mit diesem kräftig vermischt.

Gleichzeitig wird der Plasmabrenner 2 in einer vorgegebenen Richtung geführt, wobei, wie in Fig. 5 dargestellt, der geschmolzene Abschnitt 11 der Oberfläche des Werkstücks 1 kontinuierlich in Richtung der Bewegung verlängert wird und sich vom Startpunkt beginnend fortschreitend abkühlt wegen der dem übrigen Teil des Werkstücks 1 inhärenten kalten Masse. Hierdurch wird ein geschmolzener Mischabschnitt 11a erreicht. Während des Arbeitens wird jeder Bereich des länglichen geschmolzenen Abschnitts 11 durch den Plasmagasstrahl aufgrund des Plasmalichtbogens 10 heftig und turbulent bewegt. Die mitgeführten Zusatzmittel 12 werden dadurch gleichmäßig in dem geschmolzenen Abschnitt 11 aufgrund der durch die Bewegung erreichten Rührwirkung verteilt.

Der sich so ergebende geschmolzene Abschnitt 11a fällt daher so aus, daß das Zusatzmittel 12 in dem wiederverfestigten Bereich der Oberfläche des Werkstücks 1 im wesentlichen gleichförmig vorliegt, wie das in Fig. 6 dargestellt ist. Der geschmolzene Mischabschnitt 11a weist daher aufgrund der besonderen Verteilung des Zusatzmittels 12 verbesserte Eigenschaften auf, insbesondere im Hinblick auf die Abriebfestigkeit.

Die Geschwindigkeit des Plasmagasstrahls im Plasmalichtbogen 10 ist geringer als bei dem üblichen Plasmasmelzen und beträgt beispielsweise 0,3 bis 3,0 l/min. Die Fördergeschwindigkeit des Zusatzmittels 12, des Pulverwerkstoffes, beträgt beispielsweise 0,5 m/s und die elektrische Stromstärke des Lichtbogens 10 etwa 30 bis 200 A bei 20 bis 30 V. Die Teilchengröße des Pulverwerkstoffes des Zusatzmittels 12 liegt üblicherweise unter 200 µm, bevorzugt unter 100 µm.

Wenn dieser Pulverwerkstoff als Zusatzmittel 12 in den geschmolzenen Abschnitt 11 eingemischt wird, verbleibt er im Pulverzustand oder wird teilweise durch die Hitze geschmolzen, wodurch eine Legierung oder Verbindung in dem geschmolzenen Mischabschnitt 11a mit dem geschmolzenen Abschnitt 11 der Oberfläche des Werkstücks 1 gebildet wird.

Bei den im folgenden erläuterten einzelnen Ausführungsbeispielen wird zur Ermittlung einer spezifischen Abriebsmenge ein Prüfstück einer besonderen Abriebprüfung unterworfen, nämlich einer Gleitabriebprüfung unter Verwendung einer sogenannten Ohkoshi-Abriebprüfmaschine. Diese ist erläutert beispielsweise in Yokendo, "Lubrication Abrasion of Metals and Countermeasures Therefor", S. 21. Der mittels einer solchen Abriebprüfmaschine erreichte spezifische Abriebwert bzw. die spezifische Abriebsmenge ergibt sich zu

$$W_s = W/p \cdot F \cdot l,$$

mit

- W_s = spezifische Abriebsmenge,
- W = Abriebsvolumen,
- p = Kontaktdruck,
- F = Kontaktfläche,
- l = Reibstrecke.

Diese Gleichung ist erläutert in dem Buch "Mechanical Engineering Handbook", 5. Auflage, 1968, S. 6—59.

Herausgeber: Japanische Gesellschaft der Maschinenbauingenieure. Hinsichtlich dieser Abriebprüfung sei noch verwiesen auf Minoru Kawamoto, "Material Test", S. 95/96, Verlag Asakura Shoten. Der Aufbau der bei der Abriebprüfung zu verwendenden Prüfstücke ist ebenfalls aus den angegebenen Literaturstellen entnehmbar.

Ausführungsbeispiel 1

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück A als Werkstück, bestehend aus einem Grauguß vom Typ FC 30 gemäß japanischer Norm, wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 50 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,5 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel Cr-Pulver eingemischt. Das Cr-Pulver besaß eine Teilchengröße von 5–100 µm und wurde mit einer Zuführrate von 0,2 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,8 mm von der Oberfläche aus und kühlte unter Bildung einer Abschreckstruktur rasch ab. Es wurde ein Mischabschnitt erreicht mit nahezu gleichmäßig verteilten Cr-Pulver-Teilchen über den gesamten Bereich mit einem Kontaktverhältnis von 1,2 Volumen-%.

Dieses Prüfstück A wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück B mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	Cr %	Spez. Abriebmenge
A	1,2	$8,6 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{N}$
B	0	$2,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$

Der bei der Ohkoshi-Abriebprüfmaschine verwendete Rotor wurde dadurch hergestellt, daß ein Rohmaterial des Stahltyps SCM 420, ein Baustahl mit bestimmten Härtebindungen gemäß japanischer Norm, einer Karburierbehandlung unterworfen und dann hartverchromt wurde. Die Abriebgeschwindigkeit betrug 1,36 m/s, die Endbelastung 31 N und die Reibstrecke 200 m, entstanden aus der Multiplikation des Rotorumfanges mit der Anzahl der Rotordrehungen.

Ausführungsbeispiel 2

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück C als Werkstück, bestehend aus einem Maschinenbau-Kohlenstoffstahl vom Typ S 50 C gemäß japanischer Norm, wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 100 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,5 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel Mo_2C -Pulver eingemischt. Das Mo_2C -Pulver besaß eine Teilchengröße von 2–30 µm und wurde mit einer Zuführrate von 0,6 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,2 mm von der Oberfläche aus und kühlte unter Bildung einer Martensitstruktur

ab. Es wurde ein Mischabschnitt erreicht mit gleichmäßig verteilten Mo-Teilchen über den gesamten Bereich mit einem Anteil von 3,6 Volumen-%.

Dieses Prüfstück C wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück D mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	Mo %	Spez. Abriebmenge
C	5,2	$7,8 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$
D	0	$8,5 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 3

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück E als Werkstück bestehend aus einer Ni-Legierung mit 10% Cu wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 100 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,5 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel TiB-Pulver mit einer Zuführrate von 0,4 g/min eingemischt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,0 mm. Nach dem Verfestigen wurde ein Mischabschnitt erreicht mit nahezu gleichmäßig verteilten TiB-Pulver-Teilchen über den gesamten Bereich mit einem Anteil von 2,6 Volumen-%.

Dieses Prüfstück E wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück F mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	TiB %	Spez. Abriebmenge
E	2,6	$4,0 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$
F	0	$7,2 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 4

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück G als Werkstück, bestehend aus einem Grauguß vom Typ FC 30 gemäß japanischer Norm wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 50 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,5 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel FeS-Pulver eingemischt. Das FeS-Pulver besaß eine Teilchengröße von 5–30 µm und wurde mit einer Zuführrate von 0,3 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,6 mm von der Oberfläche aus und kühlte zu einer gehärteten Schicht mit Abschreckstruktur ab. Die zugeführten FeS-Teilchen und entstehende (FeMn)S-Teilchen aufgrund einer Reaktion eines Teiles des FeS-Pulvers mit dem Mn-Bestandteil des Graugusses erreichten eine nahezu gleichmäßige Verteilung über den gesamten Bereich mit einem Anteil von 20 Volumen-%.

Dieses Prüfstück G wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück H mit lediglich geschmolzenem Ab-

schnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	FeS/(FeMn)S %	Spez. Abriebmenge
G	2,0	$6,9 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{N}$
H	0	$2,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 5

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück I als Werkstück, bestehend aus einer Aluminium-Legierung vom Typ AC2B gemäß japanischer Norm wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 100 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,8 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel Al_2O_3 -Pulver eingemischt. Das Al_2O_3 -Pulver hat eine Teilchengröße von 0,5–10 μm und wurde mit einer Zuführrate von 0,6 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 0,8 mm von der Oberfläche aus und besaß nach Abkühlung einen Mischabschnitt mit nahezu gleichmäßig verteilten Al_2O_3 -Pulver-Teilchen über den gesamten Bereich mit einem Anteil von 6,0 Vol.-%.

Dieses Prüfstück I wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück J mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	Al_2O_3 %	Spez. Abriebmenge
I	6,0	$8,3 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$
J	0	$6,2 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{N}$

Wie aus den Ausführungsbeispielen 1–5 ersichtlich, war das jeweilige dem erfindungsgemäßen Verfahren unterworfenen Prüfstück in seiner Abriebfestigkeit deutlich verbessert.

Ausführungsbeispiel 6

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück K als Werkstück für einen Stator, bestehend aus einem Grauguß vom Typ FC 30 gemäß japanischer Norm, wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 80 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,3 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel Cr_2S_3 -Pulver eingemischt. Das Cr_2S_3 -Pulver besaß eine Teilchengröße von 2–10 μm und wurde mittels Argongas mit einer Zuführrate von 1,2 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,2 mm und kühlte durch die kalte Masse des verbleibenden Teils des Prüfstücks unter Bildung einer gehärteten Lediburstruktur ab, in der eine Mischung verschiedener Chromsulfid-Teilchen verteilt sind, und zwar $(\text{CrFe})_2\text{S}_3$, $(\text{CrFeMn})_2\text{S}_3$, $(\text{CrFe})_3\text{S}_4$, $(\text{CrFeMn})_3\text{S}_4$, die durch die Re-

aktion des zugesetzten Cr_2S_3 mit dem Fe und dem Legierungsanteil Mn des Graugusses gebildet wurden. Die Cr-Sulfid-Mischung hat einen Anteil von 7,5 Volumen-% und eine Teilchengröße von etwa 1–8 μm .

Dieses Prüfstück K wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück L mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel (also ohne Zugabe von Cr_2S_3 -Pulver) einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	Dispergiertes Material	Anteil in Vol.-%	Spez. Abriebmenge
K	Chromsulfid	7,5	$8,0 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{N}$
L	—	—	$2,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 7

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück M als Werkstück, bestehend aus einem Kohlenstoffstahl aus Fe und C (50%) wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 80 A für den Lichtbogen, einer Plasmagasgeschwindigkeit von 1 l/min für das verwendete Argongas und einer Zickzack-Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,3 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel eine Mischung aus je 50 Gewichts-% Cr_3C_2 -Pulver einer Teilchengröße von 2–10 μm und MoS_2 -Pulver einer Teilchengröße von 5–60 μm mit einer Zuführrate von 0,1 g/min mittels Argongas eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,4 mm von der Oberfläche aus. In dem nach Abkühlung gebildeten Mischabschnitt waren die Chromsulfid-Teilchen, und zwar Cr_2S_3 und Cr_3S_4 aus der Reaktion der Komponenten, gleichmäßig verteilt über den gesamten Bereich in einem Anteil von 0,5 Volumen-% bei einer Teilchengröße von 1–9 μm .

Dieses Prüfstück M wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück N mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

	Dispergiertes Material	Anteil in Vol.-%	Spez. Abriebmenge
M	Chromsulfid	0,5	$3,6 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$
N	—	—	$8,5 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 8

Als Prüfstück O wurde als Werkstück ein Nockenhubteil einer Nockenwelle aus Grauguß vom Typ FC 30 gemäß japanischer Norm für den Einbau in einen Kraftfahrzeugmotor verwendet und mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend den erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 60 A für den Lichtbogen, einer Argongas-Plasmagasgeschwindigkeit von 0,5 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 1 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel Cr_2S_3 -Pulver eingemischt. Dieses besaß eine Teilchengröße von 2–10 μm und wurde mit einer Zuführrate von 0,6 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt be-

saß nach Verfestigung eine Tiefe von 1,8 mm und enthielt verschiedene Chromsulfide wie $(\text{CrFe})_2\text{S}_3$, $(\text{CrFeMn})_2\text{S}_3$, $(\text{CrFe})_3\text{S}_4$ und $(\text{CrFeMn})_3\text{S}_4$, die in dem Mischabschnitt gleichmäßig verteilt waren und einen Anteil von 2,2 Volumen-% bei einer Teilchengröße von 1–8 μm besaßen. Die gehärtete Schicht in diesem Mischabschnitt besaß eine Rockwelle-C-Härte von 58.

Dieses Prüfstück Q wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück P mit lediglich geschmolzenem Abschnitt einem Servicetest unterworfen. Beim Prüfstück P wurde eine Tiefe des geschmolzenen Abschnittes von 1,9 mm und eine Rockwelle-C-Härte von 51 festgestellt.

Der Servicetest erfolgte unter Betriebsbedingungen in eingebautem Zustand mit einem Motor mit einer Drehzahl von 1000 min^{-1} , einer Öltemperatur von 65°C und einer Versuchsdauer von 200 h.

Als Ergebnis wurde erreicht, daß der Abriebverlust an der Nockenspitze des Prüfstücks Q 10 μm in der Tiefe betrug, bei dem Vergleichs-Prüfstück P jedoch 120 μm .

Ausführungsbeispiel 9

Als Prüfstück Q als Werkstück wurde ein Ventil-schwinghebel aus einem Baustahl mit bestimmten Härtebindungen vom Typ SCM 420 gemäß japanischer Norm für den Einbau in einen Kraftfahrzeugmotor verwendet und mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 45 A für den Lichtbogen, einer Argongas-Plasmagasgeschwindigkeit von 0,5 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,8 m/min wurde die Gleitfläche behandelt, und zwar wurde auf dieser ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel Cr_2S_3 -Pulver eingemischt. Dieses besaß eine Teilchengröße von 2–10 μm und wurde mit einer Zuführrate von 0,4 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,0 mm und enthielt nach dem Abkühlen unter Bildung einer Abschreckstruktur eine Mischung von Chromsulfiden, und zwar $(\text{CrFe})_2\text{S}_3$, $(\text{CrFeMn})_2\text{S}_3$, $(\text{CrFe})_3\text{S}_4$ und $(\text{CrFeMn})_3\text{S}_4$ aus der Reaktion des zugeführten Cr_2S_3 -Pulvers mit den Bestandteilen Fe und Mn des Graugusses. In dem Mischabschnitt waren die Chromsulfid-Teilchen gleichmäßig verteilt mit einem Anteil von 3,4 Volumen-%. Das Prüfstück wurde dann einem Karburier- und einem Schleifvorgang unterworfen.

Dieses Prüfstück Q wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück R, das ohne Bildung eines geschmolzenen Abschnitts lediglich einem Karbuniervorgang unterworfen wurde, dem beim Ausführungsbeispiel 8 erläuterten Servicetest unterworfen.

Als Ergebnis betrug der Abriebverlust beim Prüfstück Q lediglich 3 μm , während er beim Vergleichs-Prüfstück R 50 μm betrug.

Ausführungsbeispiel 10

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück S als Werkstück in Form eines Stators, bestehend aus einem Baustahl mit bestimmten Härtebindungen vom Typ FCD 55 gemäß japanischer Norm wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 80 A für den Lichtbogen, einer

Argongas-Plasmagasgeschwindigkeit von 0,8 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,3 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel FeS-Pulver eingemischt. Das FeS-Pulver besaß eine Teilchengröße von 5–40 μm und wurde mit einer Zuführrate von 1,5 g/min eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,2 mm. Während der Behandlung reagierte ein Teil des FeS-Pulvers mit dem in Prüfstück vorhandenen Fe und Mn, wobei FeMnS entstand. Nach Abkühlung wurde ein Mischabschnitt erreicht mit gleichmäßiger Verteilung einer Mischung von FeS- und FeMnS-Teilchen einer Größe von 1–9 μm mit einem Anteil von 15 Volumen-%.

Dieses Prüfstück S wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück T mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

Teststück	Disperg. Sulfid	Anteil in Volumen-%	Spez. Abriebwert
S	FeS und FeMnS	15%	$4,5 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{N}$
T	—	—	$2,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 11

Ein für die Ohkoshi-Abriebprüfmaschine geeignetes Prüfstück U als Werkstück in Form eines Stators, bestehend aus einem Maschinenbau-Kohlenstoffstahl vom Typ S50C gemäß japanischer Norm, wurde mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 80 A für den Lichtbogen, einer Argongas-Plasmagasgeschwindigkeit von 1 l/min und einer Zickzack-Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,3 m/min wurde auf der Oberfläche ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel MoS-Pulver eingemischt. Das MoS-Pulver besaß eine Teilchengröße von 10–40 μm und wurde mit einer Zuführrate von 0,15 g/min mittels Argongas eingeführt. Der geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,4 mm. Der nach Abkühlung erreichte Mischabschnitt enthielt gleichmäßig verteilt FeS- und durch Reaktion des MoS mit dem Fe und dem Mn in dem Baustahl entstandene FeMnS-Teilchen mit einer Teilchengröße von 1–7 μm und einem Anteil von 0,8 Volumen-%.

Dieses Prüfstück U wurde zusammen mit einem weiteren Prüfstück V mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel einer Ohkoshi-Abriebprüfung unterworfen. Es wurde folgende Ergebnisse erhalten:

Teststück	Verteiltes Sulfid	Gehalt in Volumen-%	Spez. Abriebwert
U	FeS und FeMnS	0,8%	$4,2 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$
V	—	—	$8,5 \times 10^{-5} \text{ mm}^2/\text{N}$

Ausführungsbeispiel 12

Als Prüfstück W als Werkstück wurde ein Nockenhubteil einer Nockenwelle eines Kraftfahrzeugmotors, bestehend aus einem Grauguß vom Typ FC 30 gemäß japanischer Norm verwendet und mit Hilfe einer Vor-

richtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 60 A für den Lichtbogen, einer Argongas-Plasmagasgeschwindigkeit von 0,5 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 1 m/min wurde auf der Oberfläche, der Gleitfläche, ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel WS_2 -Pulver eingemischt. Das WS_2 -Pulver besaß eine Teilchengröße von 2–10 μm und wurde mit einer Zuführrate von 0,6 g/min mit Hilfe eines Gases eingeführt. Der gebildete geschmolzene Abschnitt besaß eine Tiefe von 1,8 mm und wurde durch Abkühlung verfestigt. Es wurde ein Mischabschnitt erreicht mit FeS- und aus der Reaktion des WS_2 mit den Elementen Fe und Mn des Graugusses erhaltene Fe-MnS-Teilchen einer Teilchengröße von 1–10 μm und einem Anteil von 2,8 Volumen-%. Die so gebildete gehärtete Schicht besaß eine Rockwell-C-Härte von 53. Das Prüfstück W wurde einer Schleifbehandlung unterworfen.

Dieses Prüfstück W wurde zusammen mit einem Vergleichs-Prüfstück X mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel dem bereits erläuterten Servicetest unterworfen. Das Vergleichs-Prüfstück X besaß eine Rockwell-C-Härte von 51.

Als Ergebnis wurde bei dem Prüfstück W ein Abriebverlust von 30 μm und bei dem Vergleichs-Prüfstück X dagegen ein Abriebverlust von 120 μm festgestellt.

Ausführungsbeispiel 13

Als Prüfstück Y als Werkstück wurde ein Ventil-schwinghebel, bestehend aus einem Baustahl mit bestimmten Härtebindungen vom Typ SCM 420 gemäß japanischer Norm verwendet und mit Hilfe einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren behandelt.

Bei einem Strom von 45 A für den Lichtbogen, einer Argongas-Plasmagasgeschwindigkeit von 0,5 l/min und einer Bewegungsgeschwindigkeit des Plasmabrenners von 0,8 m/min wurde auf der Oberfläche, der Gleitfläche, ein geschmolzener Abschnitt gebildet und als Zusatzmittel FeS-Pulver mittels Argongas eingeführt, und zwar mit einer Zuführrate von 0,4 g/min. Nach Abkühlung und Verfestigung enthielt der Mischabschnitt FeS- und durch die Reaktion des FeS mit dem Mn im Baustahl erhaltene FeMnS-Teilchen mit einer Größe von 1–8 μm und einem Anteil von 3,2 Volumen-%. Das Prüfstück Y wurde zur weiteren Erhöhung der Härte der Gleitfläche einer Karburierung unterworfen. Die gehärtete Schicht besaß eine Tiefe von 1,2 mm und zeigte eine Abriebstruktur, bei der die Sulfide in der karburierten gehärteten Schicht vorlagen. Das Prüfstück Y wurde ferner einer Schleifbehandlung unterworfen.

Dieses Prüfstück Y wurde zusammen mit einem weiteren Vergleichs-Prüfstück Z mit lediglich geschmolzenem Abschnitt ohne Zusatzmittel, jedoch mit Karburier- und Schleifbehandlung dem erläuterten Servicetest unterworfen.

Es wurde ein Abriebverlust von 10 μm bei dem Prüfstück Y, dagegen ein Abriebverlust von 50 μm bei dem Prüfstück Z festgestellt.

Aus den vorstehend erläuterten Ausführungsbeispielen 1 bis 13 ergibt sich eindeutig, daß mit den verschiedenen Zusatzmitteln wie Cr, Mo, Ti, B, Al_2O_3 , FeS und anderen Sulfiden bei deren Einmischen in den geschmolzenen Abschnitt des Werkstücks eine wesentliche Verbesserung der Abriebfestigkeit der so behandelten Schicht im Vergleich zu solchen ohne Zusatzmittel

erzielt wird. Insbesondere sind Cr-Sulfide zu bevorzugen, da sie gegenüber anderen Sulfiden höhere Temperaturbeständigkeit besitzen und selbst bei Temperaturen oberhalb 1000°C nicht zersetzen, wodurch eine sehr stabile Gleitfläche, die zusätzlich als Schmiermittel dient, erhältlich ist.

Das pulverförmige Zusatzmittel besitzt üblicherweise eine Teilchengröße unter 200 μm und vorzugsweise unter 100 μm . Wenn die zugeführten Teilchen in den gebildeten geschmolzenen Abschnitt eingeführt werden, werden sie verflüssigt und gleichzeitig in diesem flüssigen Zustand dem Plasmalichtbogen ausgesetzt, so daß der geschmolzene Abschnitt heftig bewegt wird, wobei die darin enthaltenen flüssigen Teilchen durch die turbulente Strömung des geschmolzenen Metalls fein verteilt werden und diese feinverteilten Teilchen durch die Kühlwirkung der kalten Masse des übrigen Metalls abgekühlt und verfestigt werden. Es wird auf diese Weise eine Oberflächenschicht erhalten, bei der die zugeführten Teilchen sehr fein verteilt sind. Vorzugsweise besitzen die Teilchen in der verfestigten Schicht eine Teilchengröße von 1–20 μm im Durchmesser, wodurch das innere Spannungsverhältnis abnimmt. Das so erhaltene Werkstück ist in seinen mechanischen Eigenschaften, wie Trennfestigkeit, wesentlich verbessert. Zusätzlich wird durch die zugesetzten Sulfide eine gleichmäßige Schmierwirkung an der Gleitfläche erreicht. Wenn eine Reibungsbewegung während des Einsatzes eines solchen Werkstücks erfolgt, dehnen sich die Teilchen aus, wodurch eine Beschichtung mit dem Sulfid mit einer Dicke im Nanometerbereich an dessen Oberfläche erreichbar ist.

Bei der Erfindung beträgt die Behandlungszeit zum Aufschmelzen lediglich etwa 1 Sekunde oder weniger, so daß vorteilhaft kein wesentlicher Verlust an Zusatzmittel aufgrund thermischer Zersetzung bewirkt wird.

Fig. 7 zeigt das Ergebnis einer Untersuchung der Beziehung zwischen dem Anteil an Chromsulfid und dem Abriebverlust eines Werkstückes, und zwar einer Nockenwelle aus dem Grauguß FC 30 für einen Kraftfahrzeugmotor. Es zeigt sich, daß die Verbesserung hinsichtlich des Abriebes bzw. der Verschleißfestigkeit etwa oberhalb 0,2 Volumen-% eintritt und bei der Zugabe geringer Mengen wesentlich ist. Wenn jedoch die Zufuhrmenge über etwa 12 Volumen-% liegt, kann die Zähigkeit abnehmen, weitere Zufuhrmengen sind nur kostspielig. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen liegt daher die Grenze der Zufuhrmenge bei etwa 12 Volumen-%.

Fig. 8 zeigt die Abhängigkeit des Abriebverlustes vom Gehalt an Eisensulfiden (FeS und FeMnS) bei einer Nockenwelle aus dem Grauguß FC 30 für einen Kraftfahrzeugmotor. Hier ist die Wirkung ab etwa 0,5 Volumen-% merkbar. Bei einer Erhöhung über 20 Volumen-% ist eine weitere Verbesserung nicht feststellbar, weshalb es aus wirtschaftlichen Gründen zweckmäßig ist, die Zusatzmenge auf höchstens 20 Volumen-% zu begrenzen.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

FIG. 3

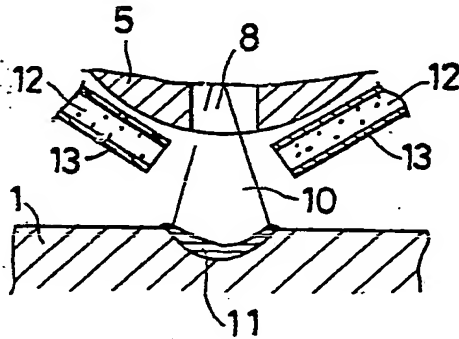


FIG. 4

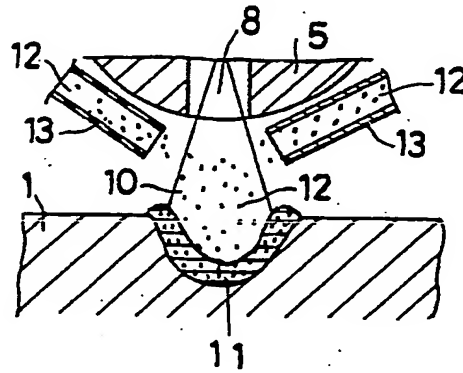


FIG. 5

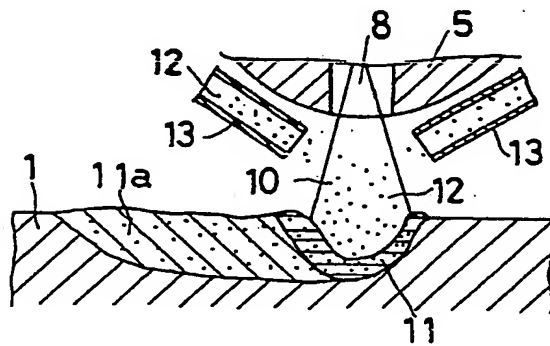


FIG. 6

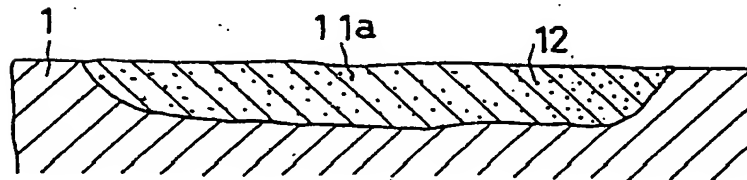


FIG. 7

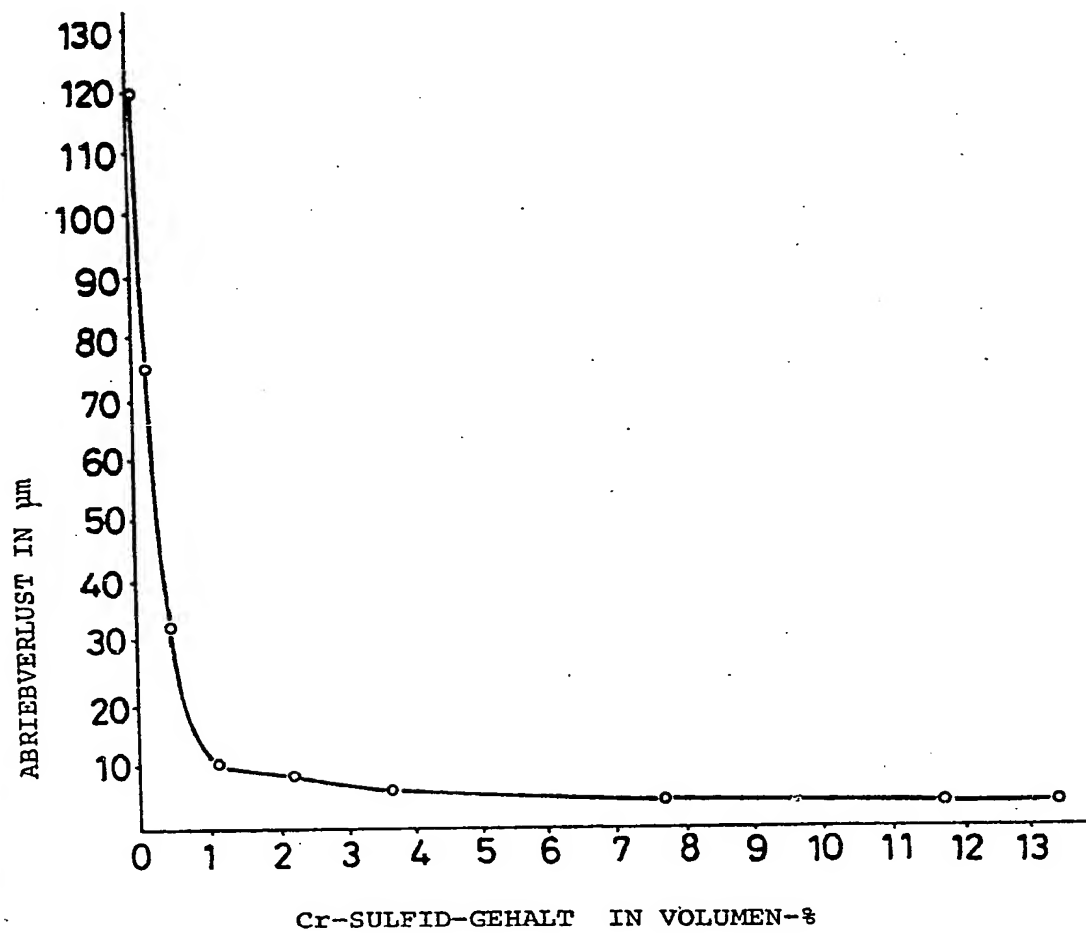
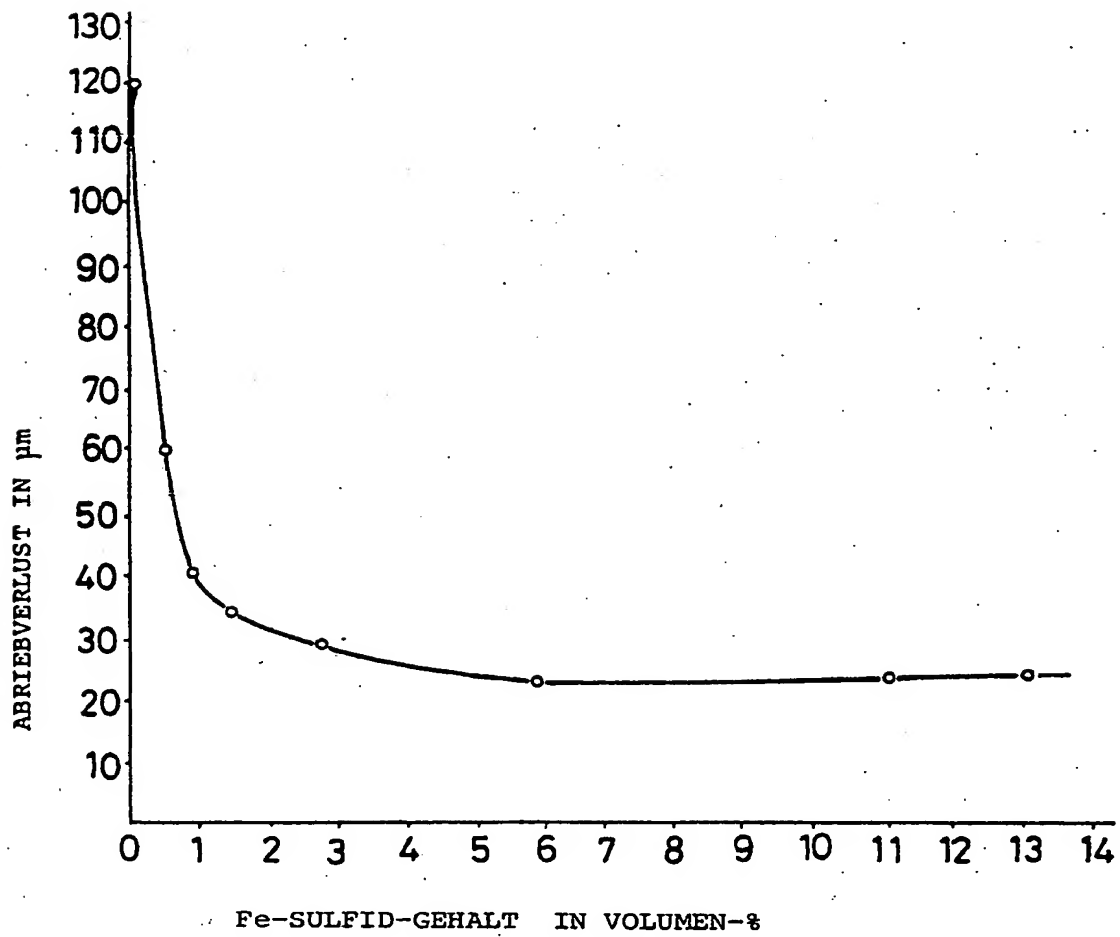


FIG. 8



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO